



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PROBLEMATIKA VOLNÉHO KOVÁNÍ

ISSUES OF OPEN DIE FORGING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Máčala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Daniel Máčala
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Problematika volného kování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování literární studie technologie volného kování. Rešerše bude obsahovat základní rozdělení metody, princip, výhody a nevýhody.

Cíle bakalářské práce:

- provést průzkum v oblasti volného kování
- popsat princip a rozdělení metody
- uvést příklady operací
- zhodnotit využitelnost a problémy

Seznam doporučené literatury:

PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. Úvod do tváření I [online]. Ostrava, 2001 [cit. 2012-03-04].

Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV1.pdf

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.

HÝSEK, Rudolf. Tvářecí stroje (1971). 1. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: RVO VA, 1994. 214 s.

SCHULER GMBH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin Heidelberg: Springer, 1996, 565 s. ISBN 35-406-1099-5.

KOPECKÝ, Miloslav a Bedřich RUDOLF. Tvářecí stroje: Mechanické a hydraulické lisy. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1967. 328 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

MÁČALA Daniel: Problematika volného kování.

Práce předkládá přehled o problematice volného kování. Je vytvořena na základě literární studie teoretického základu s doplněním obrázků k dané problematice. Pojednává obecně o volném kování, jeho principu a rozdělení. Dále jsou popsány nejčastější užívané výchozí polotovary, jejich ohřev a typy strojů. Hlavní důraz je kladen na základní kovářské operace, které jsou podrobně popsány. Pro lepší představu využití volného kování, jsou uvedeny příklady výkovků z výrobních firem.

Klíčová slova: kování, volné kování, ingot, prodlužování, pýchování

ABSTRACT

MÁČALA Daniel: Issues of open die forging.

The thesis submits the overview about issues of open die forging. It is written based on literary studies of theoretical basis with addition of pictures regarding the problematics. It generally deals with open die forging, its principles and sorting. Then the most frequently used initial semi-finished products, its heating and types of machines, are described. The main focus is put on basic forging operations which are concretely described. For the better image of usage of open die forging the examples of forging from manufacturing companies are introduce.

Keywords: forging, open die forging, ingot, fullering, upsetting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÁČALA, Daniel. *Problematika volného kování*. Brno, 2017. 29s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 26.5.2017

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a možnost studovat.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
-------------	---

1 VOLNÉ KOVÁNÍ	10
-----------------------	----

1.1 Ohřev výchozí polotovár	10
-----------------------------	----

1.2 Výchozí polotovár	13
-----------------------	----

1.3 Stroje používané ve volném kování	14
---------------------------------------	----

1.3.1 Buchary	14
---------------	----

1.3.2 Hydraulické lisy	15
------------------------	----

1.4 Pěchování	16
---------------	----

1.5 Prodlužování	18
------------------	----

1.6 Osazování a prosazování	20
-----------------------------	----

1.7 Přesazování	21
-----------------	----

1.8 Děrování	22
--------------	----

1.9 Zkrucování	23
----------------	----

1.10 Sekání	24
-------------	----

1.11 Ohýbání	25
--------------	----

1.12 Kovářské svařování	26
-------------------------	----

2 PŘÍKLADY VOLNÝCH VÝKOVKŮ	27
-----------------------------------	----

3 ZÁVĚRY	29
-----------------	----

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

ÚVOD [3], [5], [11], [17], [22], [33], [43]

Kování patří mezi jednu z nejstarších výrobních metod. Počátky ručního kování sahají až do 3. tisíciletí př. n. l. do oblasti blízkého a středního východu. V Evropě docházelo k rozvoji až v době halštatské (1. tisíciletí př. n. l.). Do České republiky se dostalo asi před 2500 lety, když Keltové dobývali střední Evropu. Dokazují to četné nálezy vykopávek ve Stradonicích u Berouna a ve Starém Hrádku u Prostějova.

Začátky strojního kování se datují již od středověku (v této době už byly známy všechny základní operace jako např. prodlužování, ohýbání, pěchování, sekání), kdy došlo k vynálezu vodou poháněného pákového bucharu, také zvaného hamr. První hamry postavené na Slovensku byly už v roce 1244, a to v Štítniku. Později také v Gelnici. Jeden z dochovaných vodních hamrů u nás pochází ze 17. století, leží u potoka v Dobřivě u Rokycan.

Kování se rozděluje na volné a zápustkové. Volné kování je rázové (pomocí bucharu), nebo tlakové (pomocí lisu). Povrch výkovků bývá nerovný, s velkými přírůstky na opracování. Volné kování má výhodu v tom, že umožňuje výrobu výkovků různých tvarů a rozměrů pomocí základních operací a nástrojů, ale pro časovou náročnost a velkou materiálovou spotřebou je používán jen pro kusovou nebo malosériovou výrobu. Příkladem je nejvýkonnější diesellový motor světa Wärtsilä-Sulzer RTA96-C.



Obr. 1 Příklad zhotovených výrobků volným kovááním [5], [43]

1 VOLNÉ KOVÁNÍ [3], [11], [17], [20], [22], [34], [35]

Je složitý tvářecí proces, při kterém se uplatňují různé operace, které se provádějí na tvářecích strojích. V současnosti se vyrábějí výkovky od několika gramů až po stovky tun.

První varianta kování, která je známa již od počátku, je ruční (obr. 2). V současné době nemá v průmyslové výrobě velký význam. Využívá se především v údržbě, při opravách nástrojů a v uměleckém kování. Pro ohřátí materiálu se využívá výheň, kde ohřev probíhá rychle a při relativně nízkých nákladech na energii. Základním nástrojem je kovádlina, která se odlévá ze speciální kovádlinové oceli a hmotnost se volí podle velikosti nejtěžšího kusu, který má být vykován. Dalšími důležitými nástroji jsou různé typy kladiv (jednoruční, dvouruční a pomocná) a pomocné nástroje (např. kleště, sekáče, utínky). Ručním kováním se dají provádět všechny kovářské operace, ale kvalita zaleží na zdatnosti a zručnosti kováře.



Obr. 2 Ukázka ručního kování [20]

Druhá varianta kování je strojní. Od vzniku prvních strojů výrazně rozšiřuje možnosti a výkon kováren, jelikož je možné zhotovit mohutnější kusy za kratší dobu. Pomocí strojů se kovou například klikové hřídele, turbínové rotory a železniční nápravy. Jelikož výkovky i samotný materiál váží několik tun. Musí se s nimi maniplovat speciálními stroji. Nejčastěji se



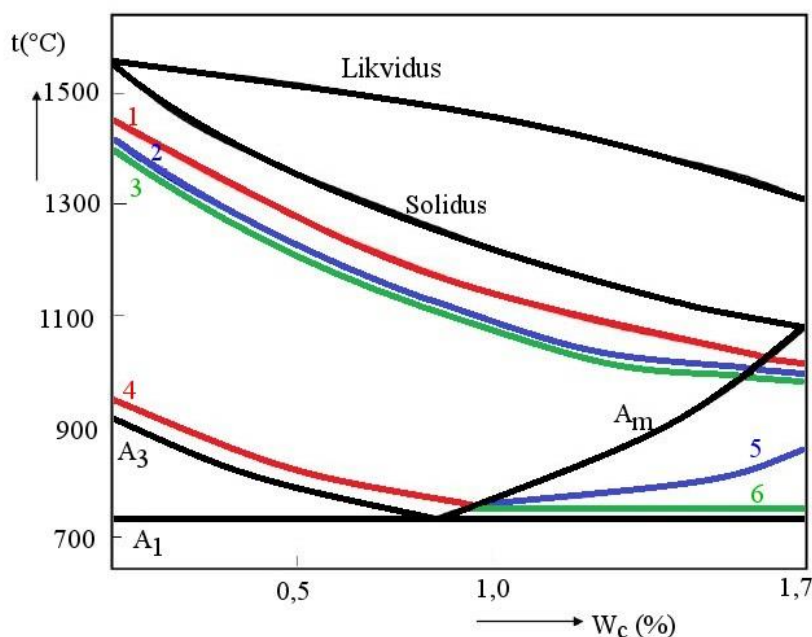
Obr. 3 Manipulátor QKK 80 [35]

používají manipulátory (obr. 3), a to buď kolejové (slouží k manipulaci těžších kusů), které se mohou pohybovat jen ve vymezených kolejích, nebo elektro-manipulátory, které mají širší otočný rádius a mohou sloužit i pro obsluhu pece.

1.1 Ohřev výchozího polotovaru [4], [6], [8], [11], [18], [22], [39]

Ohřevem před kováním se má dosáhnout v co možném nejkratším čase tvářecí teploty, a to bez zhoršení povrchové a vnitřní kvality ohřívaného tělesa. Zvyšuje se tváritelnost kovů a snižuje se jeho deformační odpor.

Před samotným ohřevem se musí stanovit nejvyšší teplota (v peci) na niž lze materiál ohřát a nejnižší přípustná teplota tváření (obr 4). Stanovení nejvyšší teploty se určuje podle horní tvářecí teploty, kde se bere ohled na to, že s rostoucí teplotou se zvyšuje tváritelnost kovů a snižuje se deformační odpor, avšak se zintenzivňuje oduhličení povrchových vrstev a oxidace a zvyšuje se náchylnost k růstu zrna. Proto horní tvářecí teplota kopíruje křivku solidu (nesmí ji překročit). Dolní tvářecí teplota se stanovuje tak, že se bere ohled na dostatečnou tváritelnost a deformační odpor musí být přijatelný k použitým tvářecím strojům.



horní tvářecí teploty:

- 1 - rychlostní ohřev
- 2 - polotovary s licí strukturou
- 3 - polotovary s tvářenou strukturou

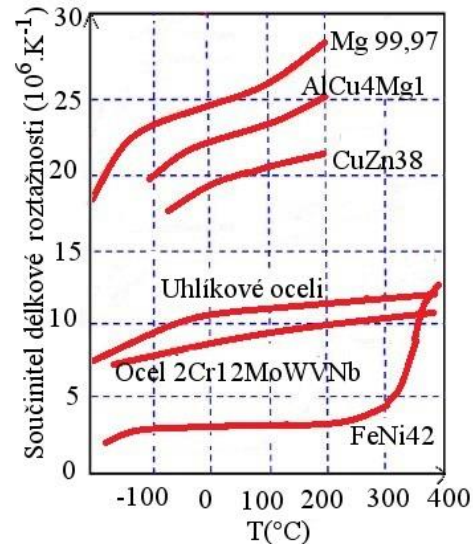
dolní tvářecí teploty:

- 4 - podeutektoidní oceli
- 5 - nadeutektoidní oceli s nižší tvařitelností
- 6 - nadeutektoidní oceli s vyšší tvařitelností

Obr. 4 Zjednodušená část diagramu Fe-Fe₃C [6]

Každý materiál má své vlastnosti a platí pro něj fyzikální základy ohřevu, které tvoří vybrané veličiny:

- Součinitel tepelné vodivosti - určuje množství tepla v Joulech, které projde mezi body vzdálenými 1 metr za 1 s, je-li rozdíl jejich teplot 1 Kelvin. Nejvyšší je u čistých kovů naopak přísadami se snižuje. Větší součinitel tepelné vodivosti má příznivé účinky na ohřev.
- Měrná tepelná kapacita - udává množství tepla v Joulech, které je potřeba dodat látce o hmotnosti 1 kg, aby se ohřála o 1 Kelvin. Jestliže je měrná tepelná kapacita vysoká, tak se prodlužuje doba ohřevu.
- Hustota - je nejnižší u čistých kovů. Nižší hustota zkracuje dobu ohřevu.
- Součinitel teplotní vodivosti - charakterizuje rychlost změn teploty při ohřevu nebo při ochlazování výrobku. Větší součinitel teplotní vodivosti zkracuje dobu ohřevu, avšak zvyšuje hodnotu tepelného pnutí.
- Teplotní roztažnost - při stálém tlaku se s zvětšující teplotou zvětšují délkové rozměry (obr. 5) a objem tuhých těles. Nejnižší je u čistých kovů. Čím je větší, tak vyvolává větší tepelné pnutí.
- Tepelné pnutí - je způsobeno objemovými změnami při ohřevu tělesa (nerovnoměrné rozdělení teploty v ohřívaném tělese).
- Rychlost ohřevu - závisí na teplotní vodivosti, vlastnostech ohřívaného materiálu a rozměrech polotovarů.



Obr. 5 Závislost součinitele délkové roztažnosti na teplotě [6]

Režim ohřevu výrobku se dá rozdělit do pěti skupin:

- Pomalý - materiál je vložen do studené pece a postupně ohříván.
- Normální - materiál je vložen do předehřáté pece na předepsanou teplotu.
- Zrychlený - část pece je předehřátá na teplotu vyšší, než je předepsána teplota ohřevu materiálu.
- Rychlý - teplota v peci je podstatně vyšší, než je teplota požadována. Materiál se vyjímá z pece po dosažení stanovené teploty.
- Stupňovitý - materiál se předehřeje v jednom prostředí a poté je přemístěn do dalšího prostředí s vyšší teplotou.

K ohřátí materiálu se využívají nejčastěji pece komorové (obr. 6), které jsou nejrozšířenější druhem. Umožňují dobré řízení tepelného režimu. Nejčastěji se vytápějí plynem různé výhřevnosti. Stavějí se také dvoukomorové pece, kde se v první komoře materiál předehřeje do teploty 800 až 1000 °C a v druhé komoře se pak dokončí rychle ohřev. Obě komory musí být odděleny přepážkou. Pro ohřátí těžkých materiálů se používají komorové pece vozové. Dalším typem pecí, které se ve volném kování používají jsou pece nárazecí (obr. 7). Mají charakter průchozích pecí s mechanizovaným průchodem materiálu. Pec se skládá z části předehřívací, ohřívací a vyrovnávací.



Obr. 6 Komorová pec [8]



Obr. 7 Nárazecí pec [39]

Při ohřevu materiálu vznikají vady:

- Opal - vzniká oxidací povrchových vrstev ohřívajícího tělesa v pecní atmosféře obsahující volný kyslík, CO_2 a vodní páru. Oxidace se urychluje neustálým opadáváním okujů (obr. 8) z povrchu ohřívajícího. Při tváření důsledkem okuje je na povrchu těles zvýšené tření (stav napjatosti se zhoršuje, zvýšené opotřebení nástrojů).
- Oduhličení - působením CO_2 a vodní páry se ocel oduhličuje, což se projeví snížením pevnosti, povrchové tvrdosti a dalších vlastností závislých na obsahu uhlíku. Za vyšších teplot převládá oxidace, za nižších pak oduhličení.
- Přehřátí a spálení - přehřátí oceli nastává při dlouhodobém ohřevu na horní tvářecí teplotu, kdy hrubne austenitické zrno (čím hrubší zrno, tím kratší dráhu musí trhlinka urazit). Při ohřevu na teploty blízké teplotě solidu může nastat spálení oceli (úplné znehodnocení oceli).



Obr. 8 Tvarový vývalek s okujemi [18]

1.2 Výchozí polotovary [4], [11], [15], [18], [22], [23]

Kováním se zpracovávají polotovary nejčastěji z oceli různých značek, neželezných kovů (hliník, měď, hořčík, nikl a titán) a jejich slitin. Tyto polotovary se dělí na polotovary s lící strukturou (kovářské ingoty) a s tvářenou strukturou (válcové bloky a sochory, tvarové vývalky kruhového a čtvercového průřezu).

Kovářské ingoty (obr. 9) prezentují základní druh výchozího polotovaru pro volné kování a nejčastěji se vyrábí z ukladné oceli (rozpuštěný kyslík je vázán na přísadu hliníku, nebo křemíku) s hmotností od několika kilogramů až po stovky tun. Počáteční tvar ingotu je určen tvarem kokily, do které je tekutá ocel odlévána. Nejpožívanější kokily mají průřez o tvaru kruhu, osmi nebo šestnáctihranu.



Obr. 9 Kovářský ingot [23]

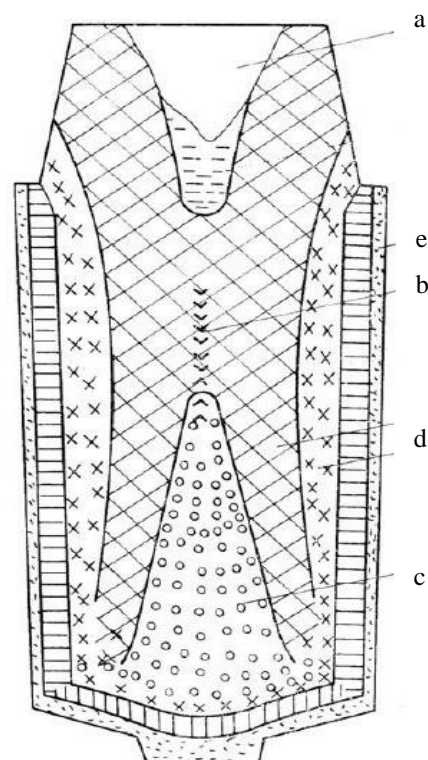
Nejčastější způsoby odlévání do kokil jsou:

- Vrchem do vakua - do kokily se roztavená ocel lije přímo z lící pánve. Kvalita výsledného ingotu je nižší, jelikož ocel při lití stříká, čímž se okysličuje.
- Spodem za atmosférického tlaku - jde o složitější a dražší způsob, jelikož vyžaduje lící soustavu kanálů. Vyrobená ocel je po ztuhnutí kvalitnější.
- Kontinuálním litím - ocel se odlévá již do chladicího zařízení, kde není dno tzv. krystalizátoru. Z druhého části už vychází ztuhlá tyč, ale pořád tvárná, která se může nařezat na požadované délky.

Základní rozměry, které charakterizují ingoty jsou střední průměr, výška, poměr této výšky k průměru a úkos stěny.

Při odlévání a následným tuhnutí (chlazení) ingotu v kokile mohou nastat tyto vady (obr.10):

- Hlavní staženina (místo a) - je nejčastěji v hlavě ingotu, a proto se ingoty lijí se ztracenou hlavou. Jestliže se staženina objeví v těle ingotu, je to důsledkem nedolití nebo příliš malé hlavy.
- Řediny - jsou důsledkem špatného doplňování tekuté oceli. Buď nevhodnou lící rychlostí, nebo nedostatečnou lící teplotou.
- Celková pórovitost (místo b) - svědčí o nedostatečné dezoxidaci.
- Místní pórovitost - bývá důsledkem odezvy kovu s nečistým a vlhkým povrchem kokily nebo nepříhodným kokilovým nátěrem.
- Vycezeniny typu A a V (místo c) - jsou způsobeny normálními segregačními pochody a vývojem plynů
- Výrazné dendritické segregace (místo d) - se rozvíjejí nadměrnou velkou krystalickou rychlostí při malém počtu krystalizačních center.
- Makroskopické nekovové vměsky - jsou způsobeny erozí pecní a pánevní vyzdívky a lícího zařízení (písek, struska).
- Neúměrná mikroskopická vměskovitost - svědčí o nedostatečné dezoxidaci.



Obr. 10 Schéma struktury ingotu [6]

- Nečistý povrch se zalitým pískem (místo e) - je důsledkem špatného vyzdění licích desek a nedostatečné jakosti ohnivzdorného materiálu.
- Podélné trhliny na rozích a stěnách - jsou příčinou pnutí při rychlém a teplém lití nebo při předčasném vytáhnutí ingotu z kokily a jeho vychladnutí.
- Příčné a šikmé trhliny - jsou důsledkem překážek ve smršťování ingotu (kokilou nebo špatnou volbou licí teploty a rychlosti).
- Zavaleniny - studené svary, které vznikly důsledkem studeného nebo přerušovaného lití nebo vadné kokily.
- Šupiny - se objevují na povrchu ingotu rozstříkem oceli při lití.

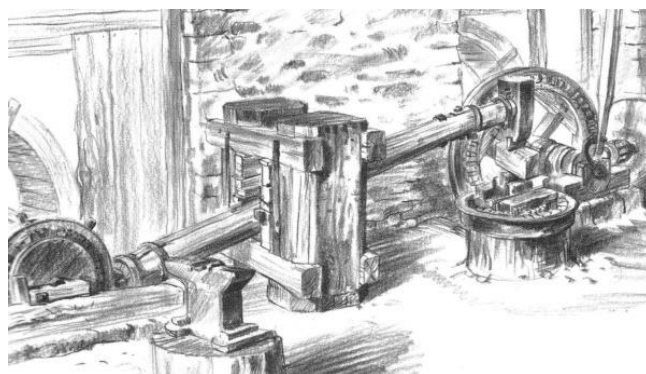
Předejít nebo zmírnit některé vady se může správnou volbou základních parametrů, kde poměr výšky k střednímu průměru ingotů bude v rozsahu od 0,95 do 1,15, úkos stěny 7 až 10 % a šířka stěny kokily se bude rozšiřovat směrem dolů. Ideální počet hran ingotu je 16.

Tvarné druhy polotovarů jsou určeny pro menší volné výkovky a zápustkové kování. Jsou to nejčastěji válcované materiály jako předvalky, vývalky, ale také některé jednoduché profily.

Předvalky jsou ocelové výrobky valcované za tepla na předvalcovacích tratích. Pro kování se používají bloky a ocelové sochory, které mají tvar a rozměry podle norem. Válcové tyče mají většinou kruhové, čtvercové a ploché průřezy, ale mohou být také průřezy ve tvaru H, L, U a Z.

1.3 Stroje používané ve volném kování [3], [9], [17]

Začátky používání strojů v kovárnách se datují již od středověku, kdy došlo k vynálezu vodou poháněného pákového bucharu (obr. 11), také zvaného hamr. V dnešní době se již vodou poháněné pákové buchary nepoužívají. Jsou nahrazeny buď buchary, nebo hydraulickými lisami. Rozdíl mezi těmito typy strojů je, že buchary prokovou materiál na několik rázů, ale ne však v celém průřezu a naopak hydraulické lisy prokovou materiál v celém průřezu na jeden zdvih, ale pracují pomaleji.



Obr. 11 Ukázka pákového bucharu [9]

1.3.1 Buchary [6], [11], [28], [30], [38], [44]

Patří k rázovým tvářecím strojům. Výhodou bucharu je cena a opadávání okují při rázu, díky čemuž se docílí čistého povrchu. Avšak nevýhodou je, že přenáší rázy do okolí a zvyšuje se riziko úrazu obsluhy.

Buchary se skládají ze tří základních částí a to ze stojanu s beranem, šabotů a základu. Stojan tvoří základní část a rozděluje se na vertikální a horizontální. Základy se staví tak, aby co nejvíc pohltily energii, která se nevyužila při samotném procesu přetváření. Tato energie je nežádoucí, jelikož vyvolává chvění stroje a přenáší se do okolí, kde je nebezpečná pro budovu a zdraví obsluhy. Jedna z metod, kterou se využívá k tlumení je uložit základnu na pružné elementy (pružiny, guma atd.).

Podle způsobu práce se buchary dělí na jednočinné a dvojčinné. U jednočinných bucharů je pohyb beranu způsoben jen jeho samotnou hmotností. Vzniklá energie se využívá na přetvoření výkovku. Beran se do horní polohy dostane pomocí pohonu stroje, který může být parní, vzduchový, plynový, kapalinový nebo elektromotorový. U dvojčinných bucharů je

pohyb beranu způsoben nejen jeho samotnou hmotností, ale také silou od pohonu stroje. Proto je energie rázu mnohem větší než u jednočinného bucharu při stejné hmotnosti a zdvihu kovádky.

Buchary se rozdělují na čtyři základní typy:

- Pružinové (obr. 12) - patří mezi nejjednodušší tvářecí stroje. Jsou poháněny od elektromotoru třecím převodem na setrvačnick a od klikového hřídele mechanicky pákami na beran. Vyrábí se do váhy beranu okolo 250 kg. Používají se především v menších závodech a ocelárnách na kovací zkoušky.
- Kompresorové (pneumatické) (obr. 13) - účinek ocelové pružiny (pružinový buchar) nahrazuje stlačený vzduch. Stlačení vzduchu vykonává kompresní válec. Regulace úderu u menších bucharů se provádí nožní pákou. U větších typů pootočením ruční pákou. Vyrábí se od váhy beranu 40 až 3000 kg, jako dvojčinné stroje.
- Hydraulické - hlavním nositelem energie je kapalina (emulze a minerální olej). Vyrábí se buď jednočinné nebo dvojčinné stroje. Nádrž na kapalinu je umístěna na příčniku v horní části bucharu. Váha beranu je od 500 až 3700 kg.
- Parovzdušné - jako hnací energie se používá studený nebo horký vzduch a nasycená nebo přehřátá pára s přetlakem 0,5 až 1 MPa (nejběžněji 0,7 MPa). Pohyb beranu se řídí uzavíráním vstupující páry nebo škrcení vystupující páry z válce. Vyrábí se do váhy beranu až 4000 kg.



Obr. 12 Pružinový buchar [30]



Obr. 13 Kompresorový buchar [28]

1.3.2 Hydraulické Lisy [6], [11], [13], [35], [38]

Pracují na principu Pascalova zákona (vnější síla působící na povrch kapaliny v uzavřeném prostoru se šíří všemi směry stejně). Výhodou je, že pracují statickou silou a nepřenášejí rázy do okolí. Avšak nevýhodou jsou okraje, které jsou zamačkávány do povrchu. Hydraulické lisy se dělí na hornotlaké a dolůtažné.

Lisy se skládají z mnoha hydraulických součástí (stojany, smykadla, generátory, hydromotory, akumulátory, ventily, rozvaděče, multiplikátory, čističe, chladiče, nádrže a další).

Stůl lisu má dvojí hydraulický pohon. Příčný k směru kování (k výměně spodního nástroje) a podélný (pro manipulaci s materiálem).

Podle firmy Žďas se hydraulické lisy značí písmenem CK, další písmeno vyjadřuje konstrukční uspořádání lisu, které může být:

- CKV (hornotlaké čtyřsloupové lisy) (obr. 14) - jsou určeny pro operace volného kování výkovků z ocelí i neželezných kovů. Vyznačují se robustní vertikální konstrukcí zajišťující vysokou životnost zařízení.
- CKVX (hornotlaké dvousloupové lisy) - jsou určeny pro všechny základní kovářské operace volného kování. Vyznačují se děleným rámem složeným ze spodní a horní traverzy. Díky robustní vertikální konstrukci je výhodou tuhý rám a zlepšený výhled do pracovního prostoru.
- CKW (dolůtažné dvousloupové lisy) (obr. 15) - využívají se především v kovárnách, kde je malá výška haly. Jsou určeny pro operace volného kování výkovků z ocelí i neželezných kovů. V nepohyblivé střední traverze jsou uloženy lisovnické válce. Hydraulický pohon je s přímým olejovým pohonem umístěným pod podlahou kovárny.
- CKZW (dolůtažné čtyřsloupové lisy) - je určen pro výrobu železničních kol za tepla. Střední traverza je nosnou částí lisu. Spodní a horní traverza a čtyři sloupky čtvercového průřezu tvoří pohyblivý rám lisu. Lis má rám skládaný.



Obr. 14 CKV 320 [35]

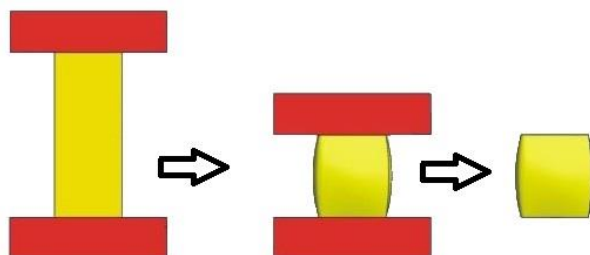


Obr. 15 CKW 1000 [35]

Na zmíněných strojích se dají provádět všechny základní kovářské operace (pěchování, prodlužování, děrování atd.).

1.4 Pěchování [6], [4], [11], [22], [34], [37], [38], [42], [44]

Pěchováním se nazývá kovářská operace, kde je materiál stlačen ve směru své osy a zároveň zvětšen v příčném průřezu, což z pěchování činí silově a energeticky nejnáročnější operaci. Pěchování se používá k výrobě výkovků s větším příčným rozměrem při relativně malé výšce z výchozího polotovaru, který má menší příčný průřez, pro zvýšení stupně prokovaní, jako předchozí operace před děrováním při výrobě dutých výkovků, před prodlužováním pro rozrušení lící struktury a snížení anizotropie mechanických vlastností,



Obr. 16 Vznik soudkovitého tvaru [37]

rovnoměrné rozptýlení a rozdrobení karbidů u nástrojových ocelí a k dosažení radiálního průběhu vláken. Nejčastěji se pěchují materiály ve tvaru kotoučů a jiné rotační předměty s poměrně malou výškou.

Při pěchování v souvislosti na tření mezi materiálem a dotykovou plochou kovadel a velikosti síly nebo rázu vzniká soudkovitý tvar (obr. 16) a přídavné napětí na bočním

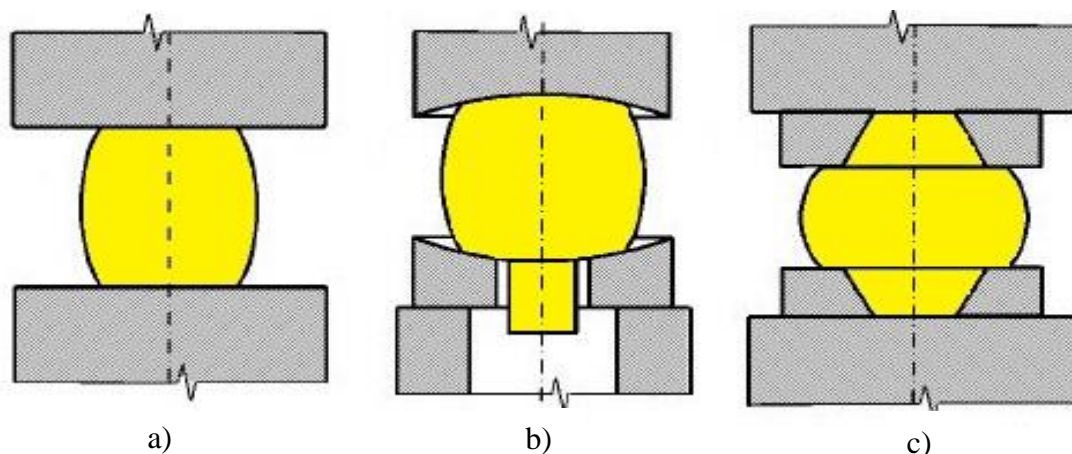
povrchu, což je důsledkem tření, která vzniká v objemu výkovku. Nejmenší deformace polotovaru je v oblasti pod dotykovými plochami, naopak největší je vymezena hloubkou průniku a dvěma oblastmi utlumené deformace pod dotykovými plochami nástroje. Rozdíl velikosti těchto deformací může být až 80 %.

Jelikož je pēchování silově a energeticky náročná operace, musí zde platit některá pravidla:

- Výchozí materiál by se měl před pēchováním rovnoměrně ohřát na horní kovací teplotu, protože se díky tomu snižuje nerovnoměrnost deformace a deformační odpor kovu.
- Upravit čelní plochy výchozího materiálu, tak aby byly rovné, vzájemně rovnoběžné a kolmé k podélné ose materiálu.
- Štíhlost výchozího materiálu je omezena vzorečkem $h_o \leq 2,5 d_o$ (kde h_o , d_o jsou výška a průměr materiálu před pēchováním), tímto se zabrání ohybu tělesa.
- Přizpůsobit výšku výchozího materiálu při pēchování bucharem na 3/4 pracovního zdvihu beranu, pro dosažení dostatečné rázové energie.
- Stupeň pēchování ingotů by měl být větší než 2,5. Tohoto stupně se dosáhne, jestliže se ingoty budou pēchovat na 2/3 až 1/2 původní výšky. Jedině tak se dosáhne kvalitní přeměny lící struktury.
- U nízkotvařitelné oceli a ingotu s nejakostním povrchem je třeba překovat hrany ingotů před pēchováním, aby se zamezil vznik podélných povrchových trhlin.

Zmíněná pravidla se aplikují na základních způsobech pēchování, mezi která patří:

- Mezi rovnými pēchovacími deskami nebo kovadly (obr. 17a) - je nejčastější používaný způsob. Pēchují se takto nejvíce válcované polotovary před děrovací operací.
- Mezi tvarovými pēchovacími deskami (obr. 17b) - nejčastěji sférickými, přičemž dolní deska má osovou díru pro zasunutí manipulačního čepu. Tímto způsobem se převážně pēchují ingoty určené k prodlužování.
- V jednoduchých přípravcích (obr. 17c) - se pēchují přírubové kotouče s jedním nebo dvěma koncovými osazeními, které se pro svou malou velikost nedají vykovat osazováním.

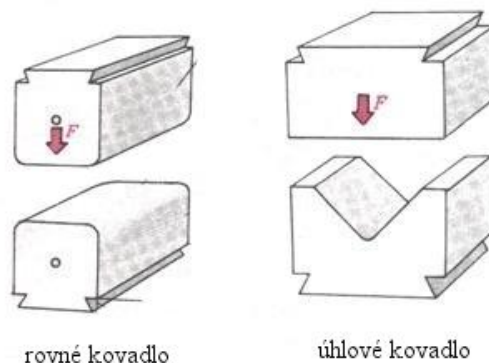


Obr. 17 Základní způsoby pēchování [6]

Pēchování ingotu je v podstatě limitováno velikostí výkovků zpracovatelných na kovacích lisech, které má podnik k dispozici. Z tohoto důvodu je v České republice zavedena praxe, že u těžkých ingotů se pēchování vynechává a nahrazuje se technologií výroby výkovku z ingotu s podchlazeným povrchem, při zachování jakosti.

1.5 Prodlužování [4], [6], [11], [13], [22], [27], [29], [32], [34], [35], [38]

Prodlužování je nejčastější kovářská operace, která se používá při každém technologickém postupu. Účelem této operace je zmenšování počátečního průřezu a zvětšení délky kovaného kusu. U prodlužování je potřeba, aby se materiál zvětšoval více do délky, než do šířky, proto je nutné materiál obracet, nebo otáčet. Velikost tečení materiálu do délky závisí především na šířce a tvaru kovádel (obr. 18), na velikosti posuvu stlačeného nebo kovaného úseku a na snížení součinitele tření, kterým se dosahuje hladkosti pracovní plochy kovádel. Jestliže jsou kovádla užší a zaoblenější a posuv materiálu je malý, tím intenzivněji teče materiál do délky. Nemůže se však použít příliš úzká kovádla, poněvadž při jejich použití teče materiál jen na povrchu a síla úderu, nebo tlaku působí do menší hloubky. Tím pádem je výkovek prokovan v celém průřezu nerovnoměrně. V tvarových kovádelinách je materiál schopen téct jen do délky.



Obr. 18 Příklad kovádel [34]

Při prodlužování polotovaru by se měla dodržovat základní pravidla:

- Pro zajištění relativně vhodného průběhu deformace se doporučuje kovat při poměrné délce záběru (l_z / h_0) v rozmezí 0,5 až 0,6, kdy ještě v osové části nevzniká tahové napětí. Při zvýšení poměru nad doporučený rozsah se tlakové napětí v osové části prodlužování zvětšuje (v oblasti prodlužování velmi příznivé), ale všeobecně narůstá nerovnoměrnost deformace po délce, což může způsobit vznik trhlin na bočním povrchu a výraznou soudkovitost. Při snížení poměru se sice snižuje nerovnoměrnost deformace po délce, ale dochází ke vzniku tahového napětí ve střední oblasti (vhodné u oceli se zvýšenou tvářitelností).
- Šířka kovádel 'B' se volí s přihlédnutím k výchozí výšce polotovaru 'h₀' a konečné šířce výkovku takto:

$$1,5b_n \geq B = (0,5 \text{ až } 0,6)h_0 \quad (1.1)$$

kde : b_n - konečná šířka výkovku [mm]

B - šířka kovádky [mm]

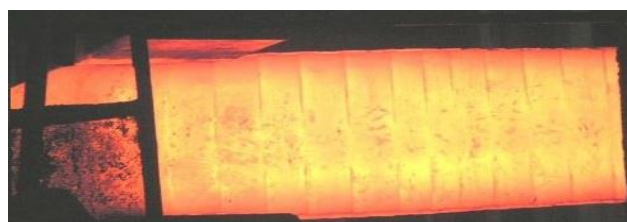
h_0 - výchozí výška polotovaru [mm]

Touto šířkou kovádky se zabrání, že v postupném procesu nebude docházet k převládání šíření nad prodlužováním.

- Délka záběru ' l_z ' (obr 19) má z hlediska stavu napjatosti, hloubky průniku plastické deformace a intenzity prodlužování vliv na tuto operaci, protože je funkcí šířky kovádky. Je vymezena vztahem:

$$l_z = (0,4 \text{ až } 0,8)B \quad (1.2)$$

Při menší délce záběru, než je doporučeno je využitá šířka kovádky nedostatečná a kování je zbytečně dlouhé, což je z hospodářského hlediska nežádoucí. Naopak při větší poměrné délce vzniká nebezpečí výstupku prodlužovaného materiálu (přeložky).

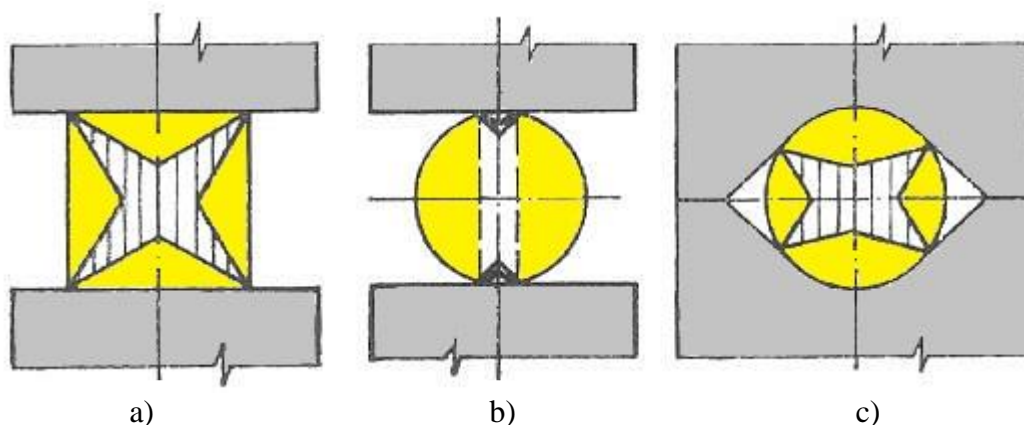


Obr. 19 Viditelné délky záběru na výkovku [6]

- Poloměr zaoblení hran r , by měl přibližně odpovídat $0,1B$. Malé poloměry zaoblení způsobují nadměrné namáhání povrchové vrstvy prodlužovaného materiálu, to může způsobit nedostačující jakost výkovku. Naopak velké zaoblení snižuje užitečnou šířku kovadel.
- Délka kovadla L má být větší jako šířka prodlužovaného materiálu po úběru.
- Na počátku procesu se volí malé úběry (15 %), aby se zamezilo vzniku trhlin z podpovrchových chyb. Po dosažení přibližně 20% deformace se úběry zvětšují, tak aby výsledná struktura byla jemnozrná v celém průřezu výkovku. Avšak v posledním průchodu se musí zamezit kritický růst zrna.
- Velikost úběru je omezena základním pěchovacím pravidlem, kde poloměr $b_n/h_n \leq 2,5$ (h_n je výška prodlužovaného materiálu). Při překročení je nebezpečí vzniku přeložky.
- K zrovnoměnění deformace se doporučuje prodlužovat s přesazováním hranic pásma deformace v každém následujícím průchodu.

Zmíněná pravidla se aplikují na základních způsobech prodlužování, mezi která patří:

- Výkovky pravoúhlého průřezu (obr. 20a) se uskutečňují na rovných kovadlech podle převládající tvarové změny čtverec - obdélník - čtverec, kde se výhodným tvarem deformace uskuteční proniknutí deformačních účinků až do jádra prodlužovaného materiálu.
- Výkovky kruhového průřezu (obr. 20b) na rovných kovadlech jsou naprosto nevýhodné, jelikož plastická deformace zasahuje jen malou část průřezu a ve střední části vznikají velké tlakové napětí. Proto se nejprve prodlužuje podle tvarové změny čtverec - obdélník - čtverec do doby, kdy strana čtverce nedosáhne přibližného průměru kruhové výkovky. Potom úhlopříčným překováním hran se dosáhne osmihranného průřezu a z toho na kruhový. Tento způsob je vhodný jen pro oceli s vysokou tvařitelností.
- Výkovky kruhového průřezu na tvarových (obr. 20c), nebo kombinovaných kovadlech se uskutečňují tvarovou změnou kruh - ovál - kruh. Tento způsob se vyznačuje větší dotykovou plochou kovadel, což má vliv na stav napjatosti, omezuje šíření a zvyšuje tvarovou dokonalost. Vhodné pro oceli s menší tvařitelností a u polotovaru kruhového průřezu.



Obr. 20 Pásmo deformace při různých způsobech protlačování [22]

- Na trnu se užívá při výrobě dlouhých dutých výkovku (kotlová tělesa, pouzdra, bubny, reaktorové nádoby apod.). Dutý předkovek se nasazuje na kovací trn, který má určitou kuželovitost, a prodlužuje se mezi kovadlem podle identický principů jako plný výkovek jen s rozdílem, že trn nahrazuje vnitřní část tělesa a tím dělí pásmo deformace na dvě oblasti mezi trnem a kovadly. Aby nedošlo k deformaci menších trnů, musí se chladit vodou, která proudí otvorem vyvrtaným ve středu trnu po celou dobu kování.

- Rozkování na trnu se používá při kování kroužků. Výchozím polotovarem je kotouč s předem prostříženou dírou, který se kove mezi horním kovadlem a podepřeným trnem, který nahrazuje dolní kovadlo.

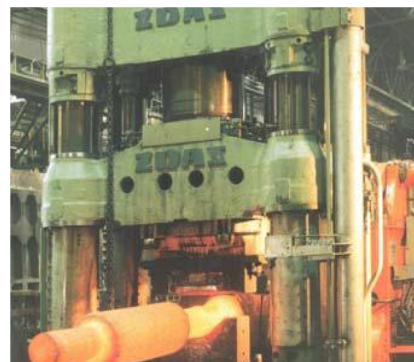
1.6 Osazování a prosazování [6], [11], [13], [22], [35], [38], [44]

Osazováním a prosazováním se zmenšuje průřez materiálu na vymezených úsecích prodlužováním a vytváří se tak výkovek, u kterého se průřez po délce mění, ale je zachována souosost všech jeho částí. Osazuje se na koncových částech (obr. 21) a prosazuje se ve střední části (obr. 22). Ve zvláštních případech můžou vzniknout u výkovku příruby.

Obě operace se provádějí u plných a dutých výkovků podélného tvaru, kde se má průřez po délce stupňovitě měnit (hřídel, čep).



Obr. 21 Osazování [6]



Obr. 22 Prosazování [6]

Aby se zabránilo vzniku nežádoucích jevů, měli by se dodržovat zásady pro osazování a prosazování:

- Maximální osazení:

$$\frac{d_0}{d_1} \leq 2,5 \quad \text{Sousedné}$$

$$\frac{d_0}{d_1} \leq 4 \quad \text{Celkové}$$

(1.3)

kde: d_1 - průměr po osazení nebo prosazení [mm]

- Minimální délka osazení se stanovuje z podmínky stálosti objemu osazené části a nejmenší délky záběru.
- Nejmenší šířka koncové a středové příruby je omezena vztahem:

$$l_{pK \min} = \frac{d_p - d_2}{2} + 0,07 d \geq 70 \text{ mm}$$

$$l_{pS \min} = \frac{d_p - d_2}{2} + \frac{0,07 d}{0,7} \geq 70 \text{ mm}$$

(1.4)

kde: d_p - průměr příruby [mm]

d_2 - menší průměr osazení vedle příruby [mm]

l_{pK}, l_{pS} - šířka příruby koncového a středového [mm]

- Prosazování se obvykle provádí celou šířkou kovadla, které určuje nejmenší délku prosazení. V případě, že šířka kovadla je větší než 40 % prosazení, tak se může odvodit omezení průměru středového prosazení:

$$d_{z \min} \geq \sqrt{0,4 \frac{d_1^3}{l_s}}$$

(1.5)

kde: d_z - průměr středového osazení [mm]

l_s - délka středového osazení [mm]

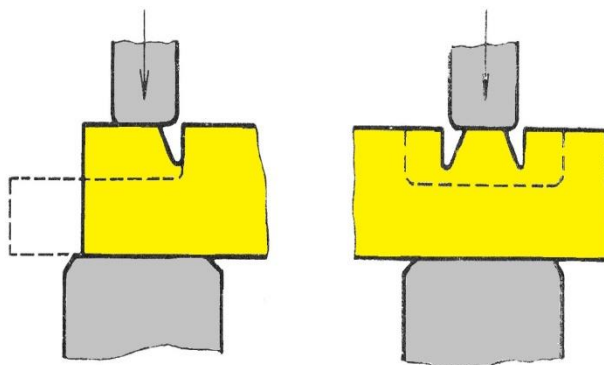
- Osazené a prosazené výkovky všech druhů se vyrábějí s délkou větší než 0,8 redukovaného průměru výkovku ' d_r ', což se může vypočítat ze vzorce:

$$d_r = 400 \sqrt{\frac{m_v}{l_v}} \quad (1.6)$$

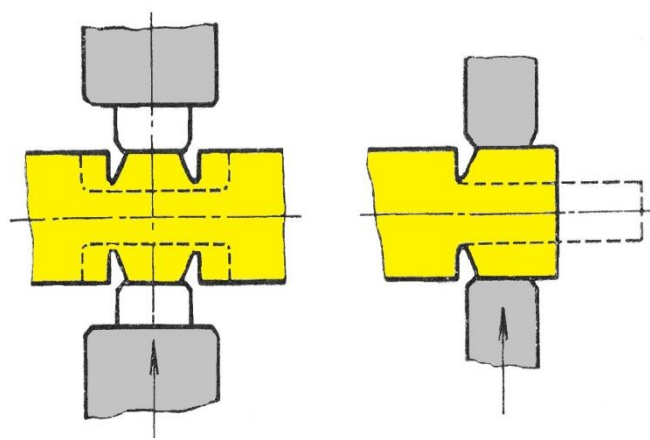
kde: m_v - jmenovitá hmotnost výkovku [kg]
 l_v - celková délka výkovku [mm]

Zmíněné zásady se aplikují na základních způsobech osazování a prosazování, mezi které patří:

- Jednostranné (obr. 23) - nejprve se musí pomocí sekáče naznačit část zaseknutí, které odpovídá hloubce osazování nebo prosazování. Zaseknutí nesmí překročit hloubku větší než potřebný průměr osazení, protože zde může vzniknout viditelný nebo skrytý vrub (toto místo je při namáhání čepu zárodkem pozdější vady). Tvar záseku může mít ostrý, nebo oblý tvar. Po zaseknutí se tato část vykove do délky. Spodní kovádklo musí přesahovat prokovanou míru. Při osazování dlouhého výkovku se musí konec výkovku buď zavěsit na jeřáb nebo vhodně podepřít, aby se zabránilo v ohýbání této části.
- Oboustranné (obr. 24) - v principu je oboustranné osazování a prosazování stejné jako u jednostranného, jen v tom rozdílu, že se materiál zasekne z obou stran a poté se vykove do délky. Zde už spodní kovádklo musí být rozměrově totožné s horním kovádklem.
- Ze všech stran - polotovár se nejprve osadí stejně jako u oboustranného osazení a prosazování a poté se otočí o 90°. Tento způsob se používá u čtyřhranné nebo válcové tyče.



Obr. 23 Jednostranné osazení a prosazení [11]



Obr. 24 Oboustranné osazení a prosazení [11]

1.7 Přesazování [4], [6], [11], [13], [22], [35], [38]

Přesazování je kovářská operace, při které se posouvá příčný průřez vůči druhému, přičemž podélná osa u vzniklého přesazení by měla být rovnoběžná s podélnou osou zbývajících částí. Tato operace se nejčastěji používá při výrobě klikových hřídeli (obr. 25). Před samotnou operací se musí počítat s výrazným stažením hran, proto se musí dělat předkovek až o 25 % větší. Část materiálu mezi záseky je rovna části objemu potřebného mezi přesazovanými díly.

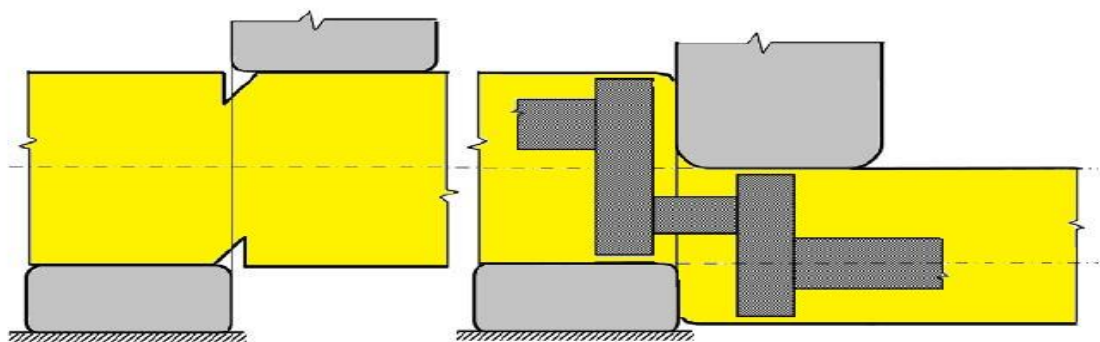
Způsoby přesazování:

- V jedné rovině - musí být boční hrana horního kovádkla v jedné rovině s boční hranou spodního kovádkla. U lisu se pojíždí se spodním kovádklem, přičemž u bucharu se používají příložky. Volný konec předkovku se musí zavěsit na jeřáb,

nebo se vhodně podepřít co nejdále od místa přesazení, aby u výchozího produktu nevznikl průhyb, což není žádaný jev.

- Ve dvou rovinách - musí být krajní rohy kovadel u záseku. Jinak je postup stejný jako u přesazení v jedné rovině.

U této operace je nutné při přesazování dodržovat optimální teplotu (min. 900 °C), jelikož je materiál značně namáhán.



Obr. 25 Přesazování (tmavě je vyznačena budoucí kliková hřídel) [6]

1.8 Děrování [4], [11], [12], [13], [22], [25], [31], [38]

Děrování (obr. 26) je kovářská operace, kterou se vytváří otvory v polotovaru a výkovku. Otvory můžou být průchozí nebo neprůchozí. Provádí se pomocí děrovacího trnu, které můžou být plné nebo duté. Jako pomocný nástroj se používá nástavec, jenž slouží k prodloužení trnu, který není dostatečně dlouhý. Pro konečnou úpravu vzniklého otvoru se používá kalibrovací trn. Při některých způsobech se používá prstenec a podstavec. Většinou než dojde ke vzniku otvoru v materiálu, předchází tomu operace pěchování, která usnadňuje tuto operaci a snižuje materiálové ztráty.

Při děrování se trn postupně zatlačuje do výchozího polotovaru, až do chvíle, kdy na dolní straně zůstává tenká vrstva materiálu, jenž se v dalším procesu odstraní a tvoří odpad. Materiál, na který působí trn, se pěchuje a vytlačuje převážně radiálním směrem, což způsobuje ztrátu rovinnosti čelních ploch a zvětšení průměru tělesa a zmenšení výšky. Největší průměr vzniká u dolní základny.

U náročných výkovku je důležité umístit otvor do části kolem osy ingotu, která je nejvíc znečištěná. Díky tomu se mohou lehce odstranit dutým trnem vycezeniny typu V, soustředěné v horní polovině ingotu a oxidační částice ve spodní části.

Při děrování polotovarů by se měla dodržovat základní pravidla:

- Výchozí materiál by se měl před děrováním rovnoměrně ohřát, což způsobí osovou dráhu děrovacího trnu.
- Před děrováním by se měl materiál pěchovat na co nejmenší výšku, protože se zlepší podmínky pro děrování, zvýší přesnost otvoru a zmenší materiálové ztráty (odpad). Optimální hodnoty pro jeho výšku ' h_0 ' a průměr ' d_0 ' jsou $h_0/d_0 < 0,8$.
- Rozměry děrovacího trnu se volí tak, aby se jeho průměr rovnal 1/3 průměru polotovaru před děrováním.

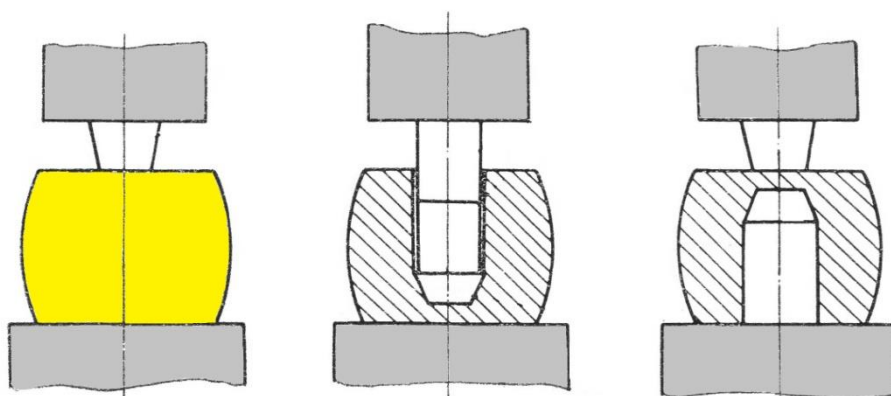


Obr. 26 Ukázka děrování [12]

- Produkty, které se zhotovují z ingotů, se ukládají hlavovou částí (jestliže je hlavová část odstraněna, ukládají se podhlavovou částí) na dolní nástroj z důvodu, aby se méně kvalitní materiál vytlačil ven.
- Mazáním děrovacího trnu se sníží potřebná síla na vznik otvoru, ulehčuje průnik nástroje do materiálu a následně i jeho vytažení.

Zmíněná pravidla se aplikují na základních způsobech děrování, mezi která patří:

- Plným trnem - je nejrozšířenější způsob. Nejčastěji se používá trn kuželovitého tvaru o průměru v rozmezí 50 až 500 mm. Z hlediska působení děrovacího nástroje (trnu) na výchozí materiál se rozděluje děrování na jednostranné a dvoustranné.
- Dutým trnem - postup odpovídá jednostrannému děrování s plným trnem, ale polotovar klade menší odpor při průniku nástroje, tím je nižší deformace polotovaru a více se uplatňuje střižný mechanismus při děrování. Dutým trnem se děrují vysoké polotovary, u kterých je třeba vyděrovat velký otvor. Výhodou tohoto děrování je vyšší kvalita vnitřního povrchu (důsledkem odstranění nekvalitní části ingotu), zanedbatelné změny tvaru tělesa avšak nevýhodou je velký materiálový odpad.
 - Jednostranné děrování- děrovací trn tlačí v průběhu děrování na výchozí materiál jen z jedné strany, což zjednodušuje manipulaci s materiálem a je to důvod, proč se tento způsob využívá při děrování těžkých výkovků. Deformace je menší jako při užití děrování z obou stran a otvor je přesnější. V první fázi děrování se trn zatlačí do polotovaru (nastává plastická deformace přechováním s plným trnem), potom se vloží pod děrovaný materiál děrovací podložka a v druhé fázi se provede vytlačení blány trnem (nastává střižná deformace).
 - Oboustranné děrování (obr. 27) - první fázi se neliší od jednostranného děrování. Kuželovitý trn pronikne výchozím materiálem do hloubky 2/3 polotovaru, poté se vytáhne a materiál se otočí o 180°. Při tomto procesu se nepoužívá děrovací podložka, protože její účel nahradí děrovaný předkovek. U tohoto způsobu je manipulace s polotovarem náročnější a odpad přibližně stejný jako u jednostranného způsobu. Používá se spíše u menších výkovků. V případě potřeby se používá kalibrační trn pro zlepšení kvality otvoru.



Obr. 27 Oboustranné děrování plným trnem [31]

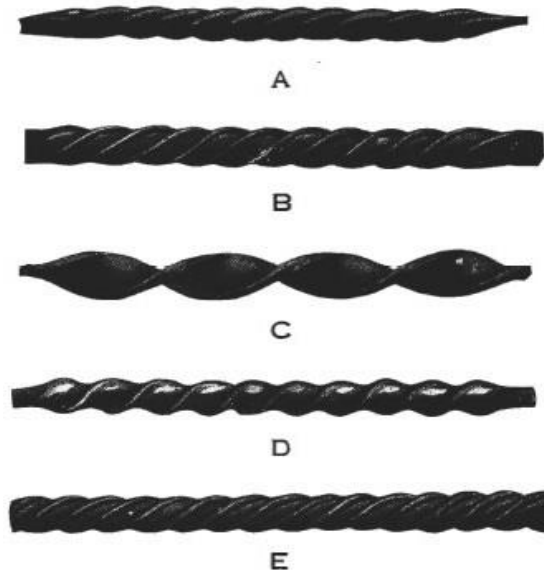
1.9 Zkrucování [4], [10], [11], [14], [16], [21], [22]

Zkrucování je kovářská operace, při které se zpravidla jedna část polotovaru sevře do kovadel nebo čelistí a druhý konec se vidlicí zkrukuje kolem společné osy. Jestliže je průměr zkručované části a úhel zkručování větší, tím výraznější je tahové napětí na povrchu zkručované části. U zkručování se průměr zvětšuje a délka se nepatrně zmenšuje.

Je to dokončující operace tvarově složitých výkovků jako například klikových hřídelí, protože se jednotlivé části výkovku vykovou v jedné rovině a potom se zkroutí do příslušné polohy.

Při zkrucování polotovarů by se měla dodržovat základní pravidla:

- Rovnoměrné prohřátí průřezu materiálu na horní kovací teplotu, kvůli dosažení ideální plasticity materiálu, a aby nevznikly trhliny vzhledem k smykovému napětí.
- Před zkrucováním je třeba odstranit povrchové kazy mechanickým opracováním (např. obráběním), aby nedošlo ke vzniku povrchových trhlin při zkrucování.
- U klikových hřídelí nesmí být úhel zkrucování větší než 60° až 90° , Zpřísněné technické podmínky dovoluují zkrucování jen o 30° .
- K zabránění ohybu volné části se převážně tato část upevní do lunet nebo do protizávaží.
- Po zkrucování následuje operace žíhání, aby se odstranilo vnitřní pnutí, které vzniklo při nakrucování. Tak se může odstranit normalizací.



Obr. 28 Ukázky zkrucování tyčí [10]

Zkrucování malých kusů se provádí ručně pomocí vratidel upnutím do svěráku, nebo mezi kovadliny. Tyče o průřezu 10×10 mm se zkrucují za studena, ale je nutná zručnost a síla kováře. Pro větší průřezy se musí materiál ohřát. Zkrucování velkých výkovků a klikových hřídelí se provádí tak, že se hřídel v určitém místě upne mezi kovadliny. Do čtyřhranného čepu se nastrčí zkrucovací páka, která se pomocí řetězu upevní k jeřábu a materiál se natočí do požadovaného tvaru. Příklad plně automatického stroje na zkrucování je uveden na obr.29.



Obr. 29 Zkrucovací stroj MT 500 A [14]

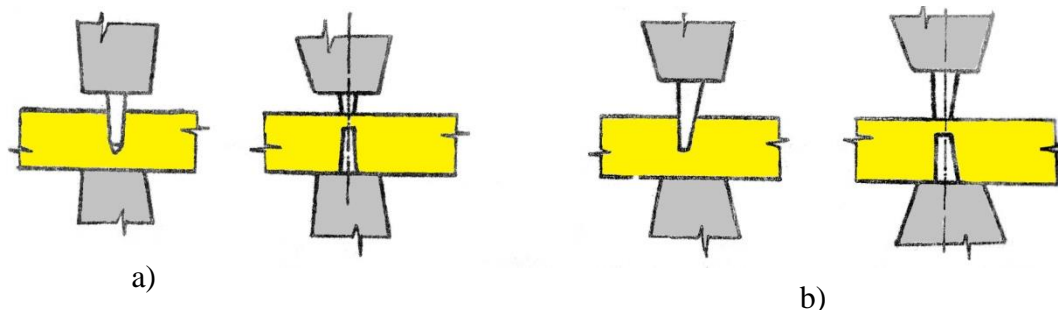
1.10 Sekání [4], [11], [13], [19], [22], [28], [29]

Sekání je kovářská operace, při níž se pomocí dělicího nástroje (sekáče) dělí materiál, nebo oddělují koncové odpady od výkovku. Nejprve nastává plastická deformace mezi nástrojem a děleným materiálem. Kvůli nepříznivému tvaru pásma deformace dochází současně k silným tahovým napětím a vlivem tohoto nastává porušení soudružnosti kovu.

Základní způsoby dělení:

- Jednostranné sekání (obr. 30a) - sekáč vnikne do materiálu z jedné strany a buď materiál prosekne celým jeho průřezem, nebo nechá tenkou blánu materiálu, která se z druhé strany dosekne klínem nebo sekáčem.
- Dvoustranné sekání (obr. 30b) - tento způsob dělení se používá u větších průřezů materiálu a menší výšce sekáče. K oddělení materiálu má dojít pod osou výkovku,

aby otřep nepřekážel při další úpravě materiálu. Proto první vniknutí sekáče pronikne do materiálu přibližně k 60 % hloubky. Poté se materiál otočí o 180° a dosekne se zbytek. Otřep by měl být na části, které půjdou do odpadu.



Obr. 30 Způsoby dělení [22]

- Trojstranné sekání - používá se při dělení výkovku kruhového průřezu. Výkovek se položí na tvarové spodní kovádko a sekání se provádí ze třech stran do oddělení tak, že po každém vniknutí se materiál otočí o 120° nebo se kus seká po celém obvodu za stálého točení. V úhlovém kovádle je princip skoro stejný, až na rozdíl, že nedojde k úplnému oddělení. Úplné oddělení se provede klínem se sraženými hranami.
- Čtyřstranné sekání - tento způsob je v principu stejný jako u dvoustranné sekání, až na rozdíl, že se s výkovkem otáčí jen o 60° a materiál se zatlačuje do místa dělení, kde je materiál prosekut nakonec. Používá se u dělení velkých průřezů. Ze všech způsobů je u tohoto principu sekaná plocha nejčistší a téměř bez otřepu.

U všech způsobů dělení je potřeba počítat s materiálovými ztrátami, jako jsou otřepy, materiálový odpad a technologický přírůstek. Dalšími nevýhodami jsou stažení hrany, řezná plocha, která není kolmá k ose a možnost zlomení nože

1.11 Ohýbání [1], [4], [7], [11], [13], [22], [34], [38]

Ohýbání (obr. 31) je náročná kovářská operace, při které je průřez výkovku značně namáhán a oblast plastické deformace je soustředěna do okrajových vrstev ohybovaného materiálu. Při ohýbání se vlákna na vnější straně materiálu protahují (namáhání materiálu na tah). Vlákna na vnitřní straně ohybu jsou stlačována (namáhání materiálu na tlak). Proto při ohýbání je potřeba počítat s určitou změnou rozměru a tvaru příčného průřezu.



Obr. 31 Příklad ohýbání [7]

Neutrální osa je osa, kde není žádné napětí a která se při ohýbání neprodlouží ani nezkrátí. Na začátku ohýbání je uprostřed průřezu a postupem se při ohýbání posouvá směrem k vnitřní straně ohybu, proto není totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu.

Aby se zamezilo vzniku přeložek v záhybu, je nutné je během ohýbání ihned odstraňovat. To však lze prakticky použít jen při vzniku záhybu u menších kusů. U větších kusů vzniknuté přeložky (případně trhliny) se odstraňují následným strojním opracováním.

Jestliže při ohýbání nemá být kus v místě ohybu zeslabený vlivem deformace, musí se v tomto místě zesílit. U kratších kusů se provádí nasrážením materiálu v místě ohybu. U větších kusů se příčný průřez v místě ohybu zvětší.

Dalším nežádoucím vlivem je odpružení, které má při ohýbání značný význam. U ohýbání se odpružení projevuje jako úhlová odchylka γ' , která roste s délkou ramen. Zpětné odpružení ohýbaného kusu je zaviněno vlivem pružné deformace kolem neutrální osy. Velikost úhlu je ovlivněno tvárností materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Je většinou v rozsahu 3 až 15 °. Odpružení je možno omezit tak, že se použije kalibrace. To znamená, že se na konci lisovacího cyklu zvětší síla a tím vznikne v místě ohybu místní plastická deformace. Hodnota odpružení se snižuje, v některých případech nenastane.

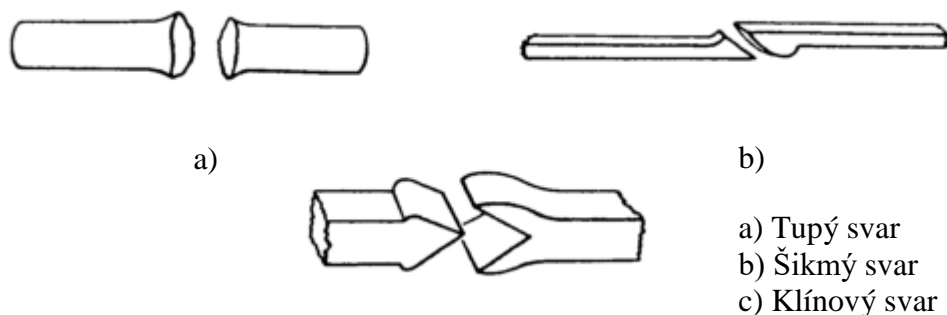
1.12 Kovářské svařování [16], [22], [36], [38]

V průmyslové výrobě se kovářské svařování už nepoužívá. V dnešní době se svařuje plamenem, elektrickým obloukem. Tato operace se používá jen při spojování menších dílců a při svařování řetězových článků z oceli s obsahem uhlíku do 0,25 %. Teplota svařování musí být nad 1300 °C. Svařované části musí být očištěné od oxidů.

Základní způsoby kovářského svařování jsou tupé, šikmé a klínové svary (obr. 32). Nejvíce se používá šikmý svar, protože je nejbezpečnější.

Před svařováním se konce kusů, které mají být svařené, nejprve napěchují a upraví. Před ohřátím na svařovací teplotu se musí posypat svařovacím práškem (tavidlem), aby se zabránilo oxidaci. Následným překováním pod buchary nebo lisy se svaří.

Nejčastější problémy při kovářském svařování jsou nespojení materiálu, kazy ve svaru, spálení materiálu v jiném místě než ve svaru a praskání materiálu po úderu



Obr. 32 Základní způsoby kovářského svařování [36]

2 PŘÍKLADY VÝROBCŮ VOLNÝCH VÝKOVKŮ [24], [26], [35], [40], [41]

Na trhu s volnými výkovky lze nalézt plno firem po celém světě. Především to jsou firmy, které mají sídlo a byly založeny ve vyspělých zemích. V nabídce těchto podniků jsou i jiné produkty, ať už stroje, či jejich příslušenství.

Příklady českých výrobců:

- ŽDAS a.s. (obr. 33) je firma zabývající se výrobou volných výkovků. V sortimentu výroby se zaměřuje hlavně na letecký průmysl, lodní díly, motory, tiskařské stroje (obr.34), ventily, plynové turbíny (obr. 35), větrné elektrárny, kontejnery. Byla založena roku 1951. Sídlo má ve Žďáru nad Sázavou.



Obr. 33 Logo firmy Žďas [35]



Obr. 34 Hřídele do tiskařských stojů [35]



Obr. 35 Hřídele do plynových turbín [35]

- TRIANGOLO spol. s r.o. (obr. 36) se zaměřuje především na výrobu lišt, hřídelí (obr. 37), kruhů (obr.38), kotoučů, děrovaných kotoučů, ojníc, táhel, vřeten. Byla založena roku 1955. Sídlo má v Hulíně.



Obr. 36 Logo firmy Triangolo [41]



Obr. 37 Ukázka neopracovaných hřídelí [41]



Obr. 38 Ukázka výroby kruhu [41]

- PILSEN STEEL s.r.o. (obr. 39) se zaměřuje především na výrobu klikových hřídelí, kastorů (obr. 40), hřídelí pro větrné elektrárny (obr. 41), rotorů, válců, lodních hřídelí. Byla založena roku 1859. Sídlo má v Plzni.



Obr. 39 Logo firmy Pilsen steel [26]



Obr. 40 Ukázka kastoru [26]



Obr. 41 Výkovek hřídele větrné elektrárny [26]

- CZECH PRECISION FORGE a.s. (obr. 42) se zaměřuje na výrobu válců, sofistikované tvary ojníc do kompresorů (obr. 43), prosazovaných klikových hřídelí (obr. 44), kroužků. Byla založena roku 2003. Sídlo má v Plzni.



Obr. 42 Logo firmy Czech precision forge [40]



Obr. 43 Ukázka ojníc [40]



Obr. 44 Neopracované klikové hřídele [40]

3 ZÁVĚRY

Volné kování se používá při výrobě výkovků v malosériové výrobě nebo u výroby velkých kusů, jelikož tyto dva způsoby z ekonomického hlediska vychází levněji, než výrobou zápusťkovým způsobem a na rozdíl od odlévání se získá lepší mikrostruktura. Výhodou je, že kombinací základních operací se může dosáhnout konečného nebo podobného tvaru součástky.

Problémy ve volném kování mohou vznikat už v přípravě výchozího polotovaru, který může získat negativní vlastnosti. Jako polotovary se při volném kování používají ingoty, sochory a válcové bloky. Nejčastěji jsou ingoty, u kterých se musí dbát na správné rychlosti lití, teplotě, ale také na chladnutí materiálu. Velkou roli u těchto vad hraje především stav kokily, do které se nalévá tekutá ocel. U špatné vyzdívky kokily vznikají v ingotu příměsi. Předejít nebo zmírnit některé vady lze správnou volbou základních parametrů ingotu.

Další problémy vznikají při ohřevu materiálu, kde se musí zvolit správná teplota ohřevu a to buď nejvyšší teplota v peci nebo nejnižší přípustná teplota tváření. Při překročení předepsané teploty dojde k přehřátí a v nejhorším případě spálení materiálu. Spálení nastává při ohřevu na teplotu blízkou k teplotě solidu. Tento materiál je znehodnocen a nelze použít v dalším procesu.

Volné kování se skládá z mnoha operací. Nejpoužívanější jsou pēchování, prodlužování, děrování, osazování, prosazování a přesazování. Každá tato operace má svoje specifické vady, kterým se musí předcházet. Při pēchování vzniká nežádoucí soudkovitý tvar. Tomuto tvaru se dá zabránit pēchováním ve tvarových kovádlech. Další problém při pēchování je velikost polotovaru, která nesmí být větší, než 3/4 pracovního zdvihu beranu, jelikož by se nedosáhla dostatečná rázová energie. Proto se u těžkých ingotů pēchování vynechává a nahrazuje se technologií výroby výkovku z ingotem s podchlazeným povrchem. U prodlužování a v jeho zvláštních případech osazování a prosazování se musí správně zvolit šířka a délka kovádra, aby materiál tek l do požadovaného směru. Taky se musí volit správné zaoblení hran, jelikož při nedostatečném zaoblení jsou nadměrně namáhány povrchové vrstvy prodlužovaného materiálu. Naopak při velkém zaoblení se snižuje užitečná plocha kovádra. Další nežádoucí jev jsou předložky, které vznikají špatnou volbou délky záběru kovádra.

Vzhledem k tomu, že volné kování je v mnoha případech nezbytnou součástí při výrobě polotovaru, jelikož se dosáhne lepší mikrostruktury a je z hlediska ekonomiky přijatelnější, bude tato technologie využívána nadále.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [2]

1. Bending and forming of aluminium extrusions. *Alexandria industries* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.alexandriaindustries.com/2016/08/25/bending-forming-aluminum-extrusions/>
2. Citace Pro. *Generátor citací* [online]. 2017 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
3. DRASTÍK, František. *Volné ruční kování*. Vyd. 2. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1967, 108 s.
4. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992, 524 s. : obr., tabulky grafy ; 21 cm. ISBN 8003006511.
5. Engine worth 109,000 horsepower. In: *Driveaholic* [online]. c2015 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://driveaholic.xyz/wp-content/uploads/2015/12/bigassengine.jpg>
6. FABÍK, Richard. *Tváření kovů*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 333 s. ISBN 978-80-248-2572-4. Dostupné také z: [http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni kovu.pdf](http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni%20kovu.pdf)
7. Forging 9" 90 degree bend. In: *YouTube* [online]. 2015 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=DSHP1vDYApo>
8. Forging furnace. In: *Indiamart* [online]. c1996-2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://dir.indiamart.com/impcat/forging-furnace.html>
9. Hamry na Bilem potoce. In: *Geocaching* [online]. c2000-2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: https://www.geocaching.com/geocache/GC2YXG3_hamry-na-bilem-potoce?guid=6ae73fd9-5346-495f-aeab-3d22342ae8a3
10. Hand forging twists and spirals. *Wrought Works* [online]. c2016 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://wroughtworks.com/wrought-iron-hand-forging-twists-and-spirals/>
11. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1965, 732 s.
12. Hollows forging process. In: *Open Die Forgings - Metal Forging Company* [online]. 2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://www.scotforge.com/Portals/0/ScotForgeImages/04-Products/4_7_BR_4_hollows-forging-process.jpg
13. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje 1973*. Vyd. 2. Praha: SNTL, 1974, 588 s.
14. Industrial machinery products. *Nargesa* [online]. c2012 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.nargesa.com/en/industrial-machinery/>
15. Ingot. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ingot>
16. Investice do rozvoje vzdělání. *Rozvoj nabídky kurzů dalšího vzdělávání se zaměřením na tradiční i moderní postupy v kovářství* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://vzdelavaniirs.cz/>
17. JÍCHA, Antonín. *Volné ruční kování*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986, 88 s.
18. Kontinuální odlévání. *Swiss Steel* [online]. 2014 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://www.swiss-steel.com/fileadmin/_migrated/pics/stranggiess.jpg

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [2]

19. KOPECKÝ, Miloslav a Bedřich RUDOLF. *Tvářecí stroje. Mechanické a hydraulické lisy*. Praha: ČVUT Praha, 1967, 328 s.
20. Kovář Tomáš Lebduška. In: *Podnikatel.cz* [online]. c2007-2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.podnikatel.cz/galerie/kovar-tomas-lebduska-se-specializuje-na-historii-a-samotne-lidi/#0>
21. Kroucení - torzirování. *Amatérský kovář* [online]. c2003-2007 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/navody/torzirovani.htm>
22. MAÁR, Karol. *Kovanie*. Košice: Edičné stredisko TU v Košiciach, 1991, 317 s. : obr., tabulky. ISBN 8070990732.
23. MACHOVČÁK, Pavel. Optimalizace výroby těžkých kovářských ingotů. *Monotematická příloha / Slévárenství* [online]. 2015, **2015**(6) [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/optimalizace-vyroby-tezkych-kovarskych-ingotu.html>
24. Naši členové. *SKČR | Svaz kováren ČR* [online]. c2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.skcr.org/>
25. Operations employed in open die forging. *Your article library* [online]. c2016 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.yourarticlelibrary.com/metallurgy/operations-employed-in-open-die-forging-metallurgy/95428/>
26. Opracované výkovky a kované tyče. *PILSEN STEEL s.r.o. | Váš steel partner* [online]. c2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.pilsensteel.cz/cs/>
27. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, 160 s. ISBN 8070788771.
28. Pneumatic forging hammer. *SAMSTAL Co., Ltd.* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://en.samstal.ru/products/80/148>
29. PRIMUS, František. *Teorie objemového tváření*. Vyd. 3. Praha: Ediční středisko České vysoké učení technické, 1982, 196 s.
30. Pružinový buchar Ajax 2. In: *Rs - stavební stroje* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.rs-stavebnistroje.cz/www-rs-stavebnistroje-cz/eshop/4-1-PRODANO-REFERENCE/0/5/245-pruzinovy-buchar-Ajax-2/>
31. Seamless rolled ring forging process operations. *Forging Industry Association* [online]. c2017 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://www.forging.org/seamless-rolled-ring-forging-process-operations>
32. SCHULER GMBH. *Handbuch der Umformtechnik*. Berlin Heidelberg: Springer, 1996, 565 s. ISBN 35-406-1099-5.
33. *Skripta tváření* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Skriptatvareni.pdf>
34. Technologie objemového tváření - kování. *Technologie II* [online]. Liberec: Petr Lenfeld [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm
35. Tvářecí stroje. *Akciová společnost ŽĐAS* [online]. Žďár nad Sázavou [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [2]

36. UNITS IN FORGING AND WELDING. *Digital cameras* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://digitalslrcameras.tk/voji/units-in-forging-and-welding-ki.php>
37. Upsetting. *Metal Forming Virtual Simulation Lab* [online]. Agra [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://msvs-dei.vlabs.ac.in/upsetting_process.php
38. VAJS, Gejza a Matúš MASNICA. *Technológia voľného strojového kovania*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1962, 420 s. : il., tabulky, grafy.
39. Vítkovice Steel zmodernizovala narážecí pec. In: *Novinky.cz* [online]. c2003-2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/ekonomika/387302-vitkovice-steel-zmodernizovala-narazeci-pec.html>
40. Volné kování. *Cpf - Czech Precisions Forg* [online]. c2015 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.cpforg.com/cs/>
41. Výkovky, kroužky, hřídele. *Kovárna TRIANGOLO spol. s r.o. - Hulín* [online]. c2009 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.triangolo.cz/>
42. Výrobce tvářecích strojů. *Šmeral Brno a.s.* [online]. Brno: Šmeral, c2017 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/>
43. World's largest diesel engine makes 109,000 horsepower. In: *Autoblog* [online]. c2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.autoblog.com/2011/07/22/worlds-largest-diesel-engine-makes-109-000-horsepower/#slide-231438>
44. Zpracování kovů a opravárenství. *ELUC* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1801>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
B	šířka kovadel	[mm]
b_n	konečná šířka výkovku	[mm]
d_0	průměr počátečního materiálu	[mm]
d_1	průměr po osazení	[mm]
d_2	menší průměr po osazení vedle příruby	[mm]
d_p	průměr příruby	[mm]
d_r	redukovaný průměr výkovku	[mm]
d_z	průměr středního osazení	[mm]
h_0	výška počátečního materiálu	[mm]
h_n	konečná výška výkovku	[mm]
l_{pk}	šířka příruby koncové	[mm]
l_{ps}	šířka příruby středové	[mm]
l_s	délka středového osazení	[mm]
l_v	celková délka výkovku	[mm]
l_z	délka záběru	[mm]
m_v	jmenovitá hmotnost výkovku	[kg]
m_{zt}	materiálové ztráty	[kg]
r	poloměr zaoblení hran	[mm]
γ	úhlová odchylka	[°]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad zhotovených výrobků volným kováním [5], [43]	9
Obr. 2 Ukázka ručního kování [20]	10
Obr. 3 Manipulátor QKK 80 [35]	10
Obr. 4 Zjednodušená část diagramu Fe-Fe ₃ C [6]	11
Obr. 5 Závislost součinitele délkové roztažnosti na teplotě [6]	11
Obr. 6 Komorová pec [8]	12
Obr. 7 Narážecí pec [39]	12
Obr. 8 Tvarový vývalek s okujemi [18]	12
Obr. 9 Kovářský ingot [23]	13
Obr. 10 Schéma struktury ingotu [6]	13
Obr. 11 Ukázka pákového bucharu [9]	14
Obr. 12 Pružinový buchar [30]	15
Obr. 13 Kompresorový buchar [28]	15
Obr. 14 CKV 320 [35]	16
Obr. 15 CKW 1000 [35]	16
Obr. 16 Vznik soudkovitého tvaru [37]	16
Obr. 17 Základní způsoby pēchování [6]	17
Obr. 18 Příklad kovadel [34]	18
Obr. 19 Viditelné délky záběru na výkovku [6]	18
Obr. 20 Pásmo deformace při různých způsobech protlačování [22]	19
Obr. 21 Osazování [6]	20
Obr. 22 Prosazování [6]	20
Obr. 23 Jednostranné osazení a prosazení [11]	21
Obr. 24 Oboustranné osazení a prosazení [11]	21
Obr. 25 Přesazování (tmavě je vyznačena budoucí kliková hřídel) [6]	22
Obr. 26 Ukázka děrování [12]	22
Obr. 27 Oboustranné děrování plným trnem [31]	23
Obr. 28 Ukázky zkrucování tyčí [10]	24
Obr. 29 Zkrucovací stroj MT 500 A [14]	24
Obr. 30 Způsoby dělení [22]	25
Obr. 31 Příklad ohýbání [7]	25
Obr. 32 Základní způsoby kovářského svařování [36]	26
Obr. 33 Logo firmy Žďas [35]	27
Obr. 34 Hřídele do tiskařských stojů [35]	27
Obr. 35 Hřídele do plynových turbín [35]	27
Obr. 36 Logo firmy Triangolo [41]	27
Obr. 37 Ukázka neopracovaných hřídelí [41]	27
Obr. 38 Ukázka výroby kruhu [41]	27
Obr. 39 Logo firmy Pilsen steel [26]	28
Obr. 40 Ukázka kastoru [26]	28
Obr. 41 Výkovek hřídele větrné elektrárny [26]	28
Obr. 42 Logo firmy Czech precision forge [40]	28
Obr. 43 Ukázka ojnic [40]	28
Obr. 44 Neopracované klikové hřídele [40]	28